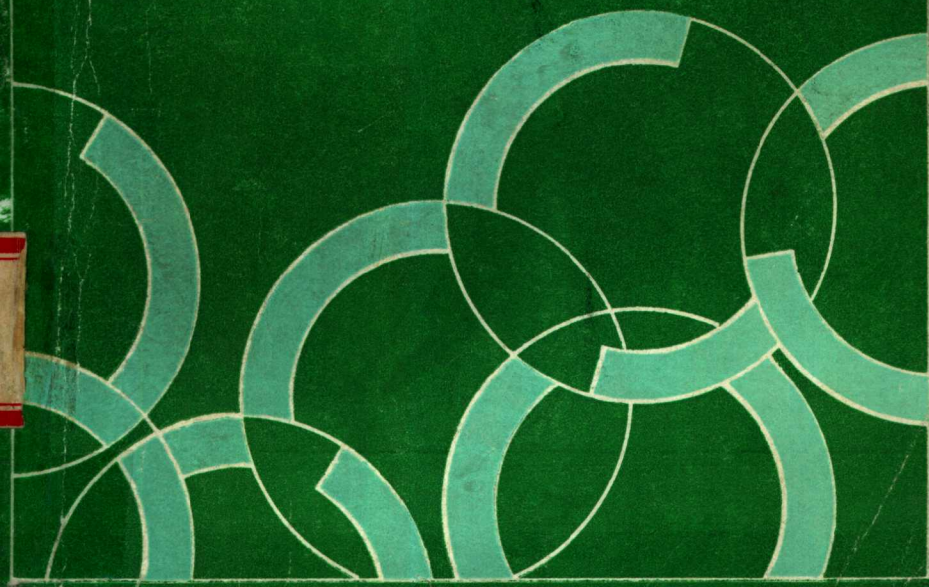


赵择卿 编译

高分子材料 抗静电技术

GAOFENZICAILIAOKANGJINGDIANJISHU

纺织工业出版社



高分子材料抗静电技术

赵择卿 编译

纺织工业出版社

(京) 新登字037号

内 容 提 要

本书较全面系统地介绍了塑料、橡胶、合成纤维等高分子材料和制成品的抗静电技术及其应用。在简要论述高分子材料产生静电和抗静电机理以及静电的危害和利用的基础上,着重介绍高分子材料的各种抗静电技术、工艺和各种影响因素,各章内均列举一些行之有效的抗静电配方和工艺条件。

本书可供国防、石油化工、轻工、纺织、冶金、煤矿、电子、造纸、印刷、制药及其他易燃易爆物生产和贮运的有关工程技术人员和操作人员阅读,也可作为高分子材料抗静电技术方面的教材或教学参考书。

高分子材料抗静电技术

赵择卿 编译

纺织工业出版社出版

(北京东直门南大街4号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

87*1092毫米 1/32 印张: 10 8/32 字数: 229千字

1991年9月 第一版第一次印刷

印数: 1—3,000 定价: 5.90元

ISBN 7-5064-0629-2/TB·0001

前 言

随着煤的综合利用，石油化工及高分子合成技术的发展，塑料、合成橡胶、合成纤维等有机高分子制成品的种类和比重不断增加，静电问题已越来越引起广泛重视。绝大多数高分子材料是非常优良的绝缘体，很容易积聚大量静电，从而产生各种生产障碍，甚至对生命财产造成严重灾害。高分子材料的抗静电处理已成为当代工业生产乃至日常生活中一种不可缺少的技术。

抗静电技术是一门新兴的边缘学科，国内外对高分子材料抗静电技术的研究方兴未艾。本书重点阐述高分子材料的各种抗静电技术，同时简要论述静电产生和抗静电的机理。本书主要参照苏联瓦西列诺克编著的《聚合物的防静电》，并结合近些年来的研究实践摘译、汇编有关文献资料，写成本书。全书共分八章，第一章介绍静电现象、起电规律及静电危害和应用等基本知识。第二章阐述高聚物结构与静电性能的关系。第三、四、五章介绍用作抗静电剂的表面活性剂的抗静电机理及应用技术。第六章介绍导电性高分子混合物中各种导电填充料的添加技术及其对制成品性能的影响。第七章介绍高分子材料的一些最新抗静电技术和导电高分子材料的应用。第八章介绍静电测量原理、方法和有关标准。为了提高本书的实用性，在编写过程中尽量避免繁复的计算和理论推导，力图用少量文字说明基本原理，同时列举一些行之有效的实例。

本书可供防静电材料设计、研究和生产单位的工程技术人员阅读和参考。还可供国防、石油化工、煤矿、轻工、纺织、电子、造纸、印刷、制药及其他易燃易爆物生产、贮运的工程技术人员和操作人员阅读。也可作为高分子材料抗静电方面的教材或教学参考书。

由于编者水平有限，书中难免会有谬误和不足之处，欢迎读者批评指正。

扬州市江都布厂厂长潘俊对本书的出版提供了赞助，特此致谢。

编 者

1989.7

目 录

第一章 结论	(1)
第一节 静电的作用和物理现象	(1)
一、力的作用	(2)
二、放电现象	(2)
三、静电感应现象	(4)
第二节 静电的灾害和利用	(5)
一、静电引起的灾害	(6)
二、静电的利用	(13)
第三节 高分子材料摩擦起电的序列 及其影响因素	(16)
第四节 抗静电方法简介	(24)
一、控制静电荷的产生	(24)
二、消除静电	(24)
第二章 高聚物的结构与静电性能	(29)
第一节 引言	(29)
第二节 高聚物的导电机理	(33)
一、高聚物的导电类型	(33)
二、提高高聚物导电性的方法	(36)
三、改变高聚物导电机理的因素	(38)
第三节 高聚物静电起电机理	(39)
一、高聚物静电起电过程	(39)
二、高聚物的静电起电与导电机理	(39)
三、高聚物材料上静电电荷的产生和泄漏	(41)
第四节 均聚物结构与静电性能的关系	(46)

一、均聚物结构与静电起电性能的关系·····	(46)
二、均聚物结构与抗静电性能的关系·····	(52)
第五节 共聚物和共混物的静电特性·····	(59)
一、共聚物和共混物的特点·····	(59)
二、共聚物和共混物静电性能的比较·····	(63)
第三章 表面活性剂的抗静电机理·····	(74)
第一节 引言·····	(74)
一、表面活性剂的结构特征及分类·····	(74)
二、表面活性剂的化学结构及其抗 静电性能·····	(75)
三、表面活性剂的亲水性和表面活性·····	(78)
四、表面活性剂的抗静电性能与高聚物 的物理性能有关·····	(81)
第二节 防止静电荷产生的机理·····	(82)
第三节 外用抗静电剂的抗静电机理·····	(86)
一、离子型外用抗静电剂的抗静电机理·····	(86)
二、非离子型外用抗静电剂的抗静电机理·····	(99)
第四节 内用抗静电剂的抗静电机理·····	(104)
第四章 用作高分子材料外部抗静电剂的 表面活性剂·····	(112)
第一节 外用抗静电剂的选用原则·····	(112)
第二节 外用阴离子表面活性剂·····	(113)
第三节 外用阳离子表面活性剂·····	(117)
一、类型和结构不同的外用阳离子表面 活性剂的抗静电效果·····	(119)
二、影响外用阳离子抗静电剂的效果和 耐久性的一些因素·····	(126)

第四节	外用两性表面活性剂·····	(129)
第五节	外用非离子表面活性剂·····	(137)
第六节	外用抗静电表面活性剂的一些实例·····	(140)
第五章	用作高分子材料内部抗静电剂的表面活性剂·····	(145)
第一节	内用抗静电剂的选用原则·····	(145)
第二节	内用阴离子表面活性剂·····	(148)
第三节	内用阳离子表面活性剂·····	(149)
第四节	内用两性表面活性剂·····	(159)
第五节	内用非离子表面活性剂·····	(168)
第六节	掺和表面活性剂工艺和高聚物加工工艺对塑料抗静电性能的影响·····	(173)
第七节	内用抗静电表面活性剂的一些实例·····	(186)
第六章	导电性填充料与高分子混合料·····	(190)
第一节	引言·····	(190)
第二节	导电性填充料对高分子混合料性能的影响·····	(192)
一、	金属填充料对高分子混合料性能的影响·····	(192)
二、	各种不同类型炭黑的结构参数和性能·····	(195)
三、	导电性填充料种类对高分子混合料性能的影响·····	(198)
第三节	高聚物结构对混合料导电性能的影响和提高导电性填充料效果的一些方法·····	(204)
第四节	填充料掺和工艺和混合料加工工艺对导电性的影响·····	(210)

一、填充料掺和工艺对混合料导电性的影响.....	(210)
二、加工工艺对混合料制品导电性的影响.....	(217)
第五节 使用条件对高分子混合料导电性的影响.....	(220)
第六节 高分子混合料中导电性填充料的导电机理.....	(227)
一、隧道效应传导电荷机理.....	(229)
二、导电性填充料颗粒直接接触导电机理.....	(233)
第七章 高分子材料的其他抗静电方法.....	(236)
第一节 镀金属层法.....	(236)
一、塑料电镀金属.....	(236)
二、纤维和织物镀金属.....	(245)
第二节 表面导电覆盖层法.....	(248)
一、塑料制品表面涂敷抗静电漆.....	(248)
二、用化学反应法在制品表面形成导电覆盖层.....	(252)
第三节 其他表面改性法.....	(261)
一、表面化学改性法.....	(261)
二、表面物理改性法.....	(264)
第四节 导电高分子材料的应用.....	(267)
第八章 静电的测量.....	(272)
第一节 静电电荷量的测量.....	(273)
一、带电物体全电荷量的测量.....	(273)
二、静电荷产生量的测量.....	(276)
第二节 带电物体表面静电电位的测量.....	(279)
第三节 材料电阻率的测量.....	(289)

一、材料体电阻率的测量.....	(290)
二、材料面电阻率的测量.....	(293)
三、纤维电阻率和质量比电阻的测量.....	(298)
第四节 电荷衰减半衰期的测量.....	(300)
第五节 其他物理量和一些带电体静电性能的 测量.....	(306)
一、静电电容和介电常数的测量.....	(306)
二、人体电阻的测量和防止人体带 电的措施.....	(308)
三、一些铺地织物静电性能的测量.....	(311)
参考文献.....	(315)

第一章 绪 论

静电现象早已被人们发现。物体之间进行摩擦，就会产生静电。不同材质物体间由于摩擦而产生的电称为摩擦电。固定在物体上而不运动的电荷叫静电荷，带电荷的物体称为带电体或荷电体。当摩擦起电时，原来两个不带电的物体，经过摩擦后一个带正电荷，另一个带负电荷。正、负电荷的电量相等。

过去，天然材料摩擦产生静电的现象往往不被人们重视。但随着石油化工的发展，塑料、合成橡胶、化学纤维等高分子材料制品相继问世，静电问题就越来越引起各方面的重视。由于高分子材料大多属于电介质范畴，其面电阻率 ρ_s 、和体电阻率 ρ_v 很大（ ρ_s 约为 $10^{14} \sim 10^{17} \Omega$ ； ρ_v 约为 $10^{15} \sim 10^{18} \Omega \cdot m$ ），即电导率很小，所以很容易积聚大量静电荷，从而对生活、生产以至生命带来各种危害。

第一节 静电的作用和物理现象

任何物体通常所具有的正负电荷是等量的，也就是说是在电中性的。两个不同物体经摩擦、接触等机械作用，电荷就会通过接触界面移动，在一个物体上造成正电荷过剩，在另一个物体上则负电荷过剩，并在界面上形成双电荷层，而两物体之外的空间并不呈现静电现象。但当在此接触界面上施加任何机械作用而使两个物体分离，则在各个物体上分别产生

静电，并在外部形成静电场。因此，静电是经过接触、电荷迁移、双电荷层形成和电荷分离等过程而产生的。带电体的周围存在着电场。相对于观察者为静止的带电体所产生的电场，称为静电场。电场的强度用电场强度 E 来衡量。静电和静电场有三种重要的作用和物理现象，即力的作用、放电现象和静电感应现象。

一、力的作用

物体带上静电后，在其周围就形成静电场。位于静电场中的任何带电体都会受到电场所施加的力的作用。按库伦法则，此带电物体单位面积上的吸引或排斥力 $F(N/m^2)$ 为，

$$F = \frac{q^2}{2\varepsilon} = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 \quad (1-1)$$

式中 ε 为带电物体的介电常数(F/m)； q 为带电物体的表面电荷(C/m^2)； E 为带电物体的表面电场强度(V/m)。按式(1-1)计算，在每平方厘米上静电作用力为数百毫克左右，仅为磁铁作用力的万分之一。因此，仅对毛发、纸片、尘埃、纤维、粉尘等非常轻的物体显示静电力学现象，而对重物则觉察不到。

二、放电现象

物体带电量 Q 与电位 V 的关系为，

$$V(V) = \frac{Q(C)}{C(F)} \quad (1-2)$$

而 $C = \varepsilon C_0$ 。式中 C 为带电体的静电电容； C_0 为真空电容； ε 为带电体的介电常数。绝缘体的介电常数值很小，因此，当一绝缘体带上静电后，尽管所带的静电量不多，但电位却

有数千伏，甚至达数万伏之高，特别在一些生产现场，有时静电电位可达数十万伏。例如人在地毯上行走时，当人体带上 10^{-7}C 电荷时，设人体的电容量为 50pF ，则人体的静电电位为：

$$V = Q/C = 10^{-7}/50 \times 10^{-12} = 2000\text{V}$$

当物体所带电荷在空间产生的电场强度超过介质的击穿电场强度时，便会出现发光、破裂声响等静电放电现象，如图1-1所示。这是静电场使带电体周围的气体发生电离的结果。这种气体击穿放电现象产生的反电荷离子流向带电体，使静电中和，正电荷离子流向接地体。这样的放电现象一旦发生，就会发出青白色的光和破裂声响，并因离子电流而辐射出一种频率约为 $10^5 \sim 10^6\text{Hz}$ 的电磁波并产生臭氧等。

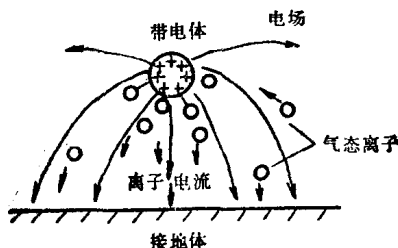


图1-1 静电场击穿空气介质使气体分子电离示意图

静电放电按其发光形态大致可分为电晕放电、刷形放电、火花放电及能观察到沿带电物体表面发光的表面放电四类。如图1-2所示。

电晕放电是电场分布不均时，电场集中在带电体或接地体的一些突出部分发生的放电现象，它是属于微弱的尖端放电现象。刷形放电是电晕放电的一种，多数发生在不均匀电场中，特别当带电电荷较大而带电体和接地体形状较为平滑

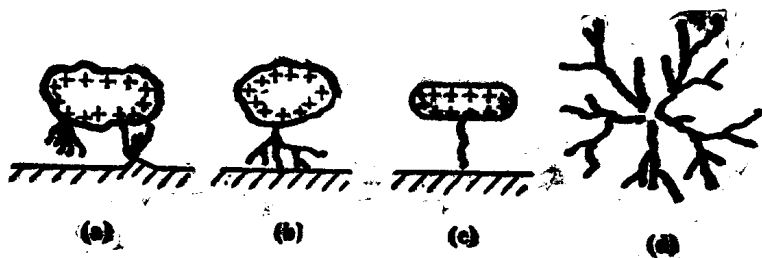


图1-2 各种静电放电示意图

(a) 电晕放电 (b) 刷形放电

(c) 火花放电 (d) 表面放电

时容易发生刷形放电，它伴有比电晕放电更强的光和破裂声响。火花放电则是一种有最强烈的发光和发出破裂声响的放电，在带电体和接地体之间可看到线状的强光，在发光通路上，瞬时会发出数安培以上的峰值电流；当带电体和接地物体的形状较为平滑时，容易发生这种放电；当带电体所带静电量较大时，一般总是发生火花放电，它往往会成为引燃和引爆源。当绝缘体上带有大量静电时，在对空气发生放电的同时，还会沿着绝缘体表面发生放电，如图1-2(d)所示，这种放电形式称为表面放电；通常带电体的表面电荷密度超过 $10^{-8}\text{C}/\text{cm}^2$ 时，就可看到绝缘体表面上的表面放电现象。另外，当带电体的一侧有接地体，而另一侧又有接地体与之接近时，容易发生表面放电，由于它和火花放电一样，放电能量较大，故须引起注意。

三、静电感应现象

即使是完全不带电的导体，只要置于某带电体附近并与大地绝缘，也会出现吸附尘埃等力学现象和伴有发光等放电现象，这就称为静电感应现象。例如某一与大地绝缘的导体

B，位于带电物体A附近，如图1-3所示，则A上的正电荷对导体B的负电荷的静电吸引和对正电荷的排斥，而使导体B表面上感应产生的正、负电荷分离。但整个导体B仍处于电荷平衡状态，总带电量为零。导体B的局部表面上，存在着过

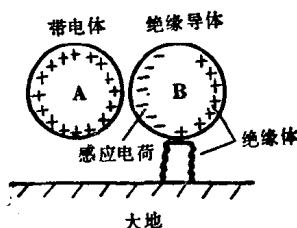


图1-3 静电感应现象

剩的正或负电荷。因此，它会出现吸附尘埃和伴有发光等静电现象。表面感应电荷 Q_s 为：

$$Q_s = \iint_s \epsilon_0 E dS \quad (1-3)$$

式中 ϵ_0 为空气的介电常数， $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$ ； S 为受静电感应物体的表面积； E 为该表面的电场强度。这个感应电荷虽然比带电体的总电荷小，但静电感应电位有时可达几千以至上万伏之高，所以不能忽视。特别是当被感应的物体是金属之类电阻小的物体时，往往会发生火花放电。

第二节 静电的灾害和利用

物体带上静电后，在带电体周围产生静电场，从而出现力学现象。这些静电力学作用和物理现象正是产生生产障碍、火灾、爆炸和电击等灾害的根源。然而，如果合理地利用这些静电力学作用和物理现象，则可根据静电原理制成多

种产品，利用静电造福人类。

一、静电引起的灾害

由静电引起的灾害大致可分为生产障碍、爆炸和火灾、电击灾害及静电感应灾害等。

1. 由静电引起的生产障碍 静电会产生同性相斥和异性相吸的力学现象，虽然这种静电的作用力只有几百毫克/平方厘米，但在这种静电力的作用下，往往会在实际生产过程中产生各种危害。例如，带有静电荷的粉末堵塞筛网，而使筛分工作无法进行；荷静电的粉末粘附在管道上和管子弯道处而造成输送不良等；印刷厂中会因印刷纸被静电吸引而不能送出，或因油墨带电而使印刷不均匀等生产障碍；塑料制品、织物、陶器或瓷器等因表面带电吸附尘埃而被污染；计量容器因静电产生粘附粉末而造成计量误差；粉末静电喷涂和静电涂漆中，由于静电作用而使工件涂膜质量不合格或沉积在工件外壁的涂料过多等。在纺丝或纺纱过程中，由于摩擦产生的静电引力或斥力，造成纤维粘附机框、管道、滚筒或飞散，影响纤维的成型加工；在织造过程中，静电力会造成纱线绒毛增多，纱线间产生相互纠缠、扭辫、起毛起球，造成纱线断头以致生产中断；在织物染色整理过程中，静电力会造成染色、印花不均，织物折叠困难等生产障碍。塑料凳椅或化纤服装及地毯等特别容易吸附灰尘，且不易洗净。静电力学现象所引起的生产障碍，视物体表面所受的静电力和其反作用力的大小而定。通常其带电电荷密度大于 $10^{-11}\text{C}/\text{cm}^2$ 时，即可发生障碍。例如半径为 a 的粒状粉体，表面所受的静电力 F_s 为：

$$F_s = 4\pi a^2 \cdot \frac{1}{2} \epsilon E^2$$

式中 ϵ 为带电体（粒状粉体）的介电常数。

作用在这一粉体上的重力 F_m 为：

$$F_m = \frac{4}{3} \pi a^3 \cdot \rho g$$

式中 ρ 为粉体的密度； g 为地心引力加速度。当 $F_s > F_m$ 时，则带电体就能克服重力吸引粉体而造成生产障碍。从以上关系式可以看出：粒子的半径越小，静电力越占优势。所以，小粒子越容易引起生产障碍。一般，粒子半径小于 $100 \mu m$ ，薄膜厚度小于 $50 \mu m$ 时，容易发生生产障碍。

如果从带有数千伏、数万伏高电位的带电体发生脉冲刷形放电或火花放电时，则在瞬间内有数安培的离子电流的同时，还会有电波发射，从而引起种种生产障碍。例如它能破坏集成电路等半导体元件，从而使电子装置、机器等的动作失调和发生故障；静电放电时产生的电波进入接收机后会产生杂音，以致降低了信息的质量，或引起信息差错；在制造或使用集成电路、半导体等元件的电子通讯工业中，由于操作者带有静电，或包装半导体元件用的塑料材料和薄膜等的带电，也会造成元件破坏等事故。例如飞机内人体在地毯上行走所产生的静电，会由于火花放电对机内无线电通讯设备造成干扰、杂声，严重时会引起可燃气体点燃和爆炸。在计算机房内，由于操作者、磁卡片或其他用品带电，会发生计算机停机或动作失误，从而使应用计算机来控制和管理工业生产过程の場合，发生产品质量下降、停工等生产障碍。由于静电放电时的发光，使照相感光胶片、X光胶片曝光而造成废品等等。

2. 静电放电引起的爆炸和火灾 当物体带有静电荷所产